

Autorzy: dr inż. Witold Mikulski, inż. Izabela Jakubowska

wimik@ciop.pl, izjak@ciop.pl

Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy



Wytyczne poprawy właściwości akustycznych pomieszczeń szkolnych pod względem uzyskania odpowiedniej zrozumiałości mowy i zmniejszenia wysiłku głosowego nauczycieli

Opracowano w ramach Projektu II.B.04.pn. „Badania parametrów akustycznych charakteryzujących pomieszczenia przeznaczone do komunikacji słownej w aspekcie poprawy warunków pracy na stanowiskach pracy”, realizowanego w II etapie programu wieloletniego pn. „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, finansowanego w latach 2011-2013 w zakresie badań naukowych i prac rozwojowych ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego/Narodowego Centrum Badań i Rozwoju. Koordynator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy.

Zakres wytycznych

Celem *Wytycznych poprawy właściwości akustycznych pomieszczeń szkolnych pod względem uzyskania odpowiedniej zrozumiałości mowy i zmniejszenia wysiłku głosowego nauczycieli* jest dostarczenie wiedzy nt. metod poprawy właściwości akustycznych pomieszczeń szkolnych (w szczególności sal lekcyjnych) pod względem uzyskania w nich: odpowiedniej zrozumiałości mowy, zapewnienia zmniejszenia nadmiernego wysiłku głosowego nauczycieli oraz zmniejszenia hałasu tła akustycznego.

Wstęp

Szkoły są zarówno środowiskiem pracy jak i miejscem nauki. W większości przypadków mimo, iż hałas w szkołach subiektywnie postrzegany jest jako duży, nie jest on na tyle duży, aby zarówno nauczyciele jak i uczniowie byli narażeni na hałas powodujący trwałe ubytki słuchu. Dominujący negatywny wpływ hałasu w szkołach to uciążliwość, utrudniony kontakt werbalny oraz wpływ pośredni na narząd głosu.

Podstawową funkcją szkół jest przekazywanie wiedzy, co jest wykonywane przez komunikację werbalną (przekazywanie mowy). Jakość przekazywania mowy, mająca istotny wpływ na szybkość i jakość przekazywania i przyswajania wiedzy, określa się zrozumiałością mowy na drodze osoba mówiąca (nauczyciel) – słuchacz (uczeń). Na zrozumiałość mowy poza nauczycielem i poziomem dźwięków zakłócających (hałasem tła), mają wpływ właściwości akustyczne pomieszczenia (sali lekcyjnej). Podczas komunikacji werbalnej poziom głosu mówiącego zależy od tła akustycznego (hałasu tła). Zbyt duży poziom tła akustycznego powoduje konieczność mówienia podniesionym głosem (natężenie). Takie mówienie podniesionym nienaturalnie głosem nadmiernie obciąża narząd głosu przyczyniając się w istotny sposób do wzrostu liczby chorób narządu głosu. Adaptacja akustyczna pomieszczenia (wzrost *chłonności akustycznej pomieszczenia*) powoduje zmniejszenie hałasu tła, co przekłada się na obniżenie „natężenia głosu” nauczycieli, a więc i przyczynia się do ograniczenia nadmiernego obciążenia narządu głosu nauczycieli – głównej przyczyny najpowszechniej występującej choroby zawodowej w tej grupie pracowników. Adaptacja akustyczna redukuje także dźwięki odbite w pomieszczeniu, przy jednoczesnym braku wpływu na dźwięki bezpośrednio docierające do słuchacza od mówiącego. Wpływa to na polepszenie stosunku dźwięku mowy do dźwięków zakłócających (w tym i dźwięków mowy zniekształconych po wielokrotnych odbiciach od ścian pomieszczenia), czego bezpośrednim skutkiem jest wzrost zrozumiałości mowy.

Reasumując wykonanie adaptacji akustycznej sal lekcyjnych umożliwia obniżenie tła akustycznego, zwiększenie zrozumiałości mowy oraz obniżenie obciążenia narządu głosu nauczycieli. Przyczynia się więc do wzrostu komfortu nauczania, łatwiejszego i precyzyjnego kontaktu werbalnego, szybszego przyswajania wiedzy przez słuchaczy, łatwiejszego zachowania koncentracji, i przede wszystkim zmniejszenia obciążenia narządu głosu.

Słowniczek

Poniżej przedstawiono kilka terminów stosowanych w tekście. Ponieważ niniejszy tekst jest tekstem popularnym świadomie zrezygnowano z podania definicji parametrów przyjętych powszechnie na rzecz ich określenia opisowego.

Czas pogłosu pomieszczenia

Parametr, który w pomieszczeniu określa czas zanikania dźwięku (o 60dB) po wyłączeniu źródła. Określony jest w sekundach: T_p [s]. Dla każdego typu pomieszczenia jest pewien zakres wartości tego parametru uważany za optymalny, właściwy dla pełnionej przez pomieszczenie funkcji (np. w salach do komunikacji werbalnej powinien być krótszy, niż w salach do słuchania muzyki). Praktycznie w typowych salach lekcyjnych (objętość 150-210m³) obowiązuje zasada: czas pogłosu powinien być mniejszy od 0,65s (powinien być także większy od 0,35-0,45s). Czas pogłosu w nie jest taki sam w całej objętości wnętrza, lecz w typowych przypadkach rozrzut wartości nie jest duży i nie jest istotny z punktu widzenia praktycznego. Wartość czasu pogłosu zależy od częstotliwości. Jeżeli w tekście nie podano wyraźnie, że wartości tego parametru odnoszą się do konkretnych częstotliwości to są wartościami średnimi dla zakresu częstotliwości 500-2000Hz (tzw. T_{mf}).

STI –Wskaźnik transmisji mowy

Wskaźnik transmisji mowy STI jest stosowany do określenia zrozumiałości mowy (tabela 1). Mimo iż możliwy zakres wartości wskaźnika transmisji mowy STI jest od 0 do 1 to w rzeczywistych pomieszczeniach jego wartości zawierają się w przedziale od ok. 0,35 (pomieszczenia całkowicie puste) do ok. 0,9 (pomieszczenia z doskonałą akustyką, zwykle obszar znajdujący się bardzo blisko osoby mówiącej). W typowych salach lekcyjnych zawiera się on w zakresie od 0,45 (całkowicie puste pomieszczenie w którym jest duży pogłos - złe warunki/pomieszczenie do przekazywania mowy) do 0,8 (adaptacja akustyczna pomieszczenia na suficie i ścianach, dużo wyposażenia, pomieszczenie o małym pogłosie - bardzo dobre, a nawet doskonałe warunki/pomieszczenie do przekazywania mowy). Skala wartości wskaźnika transmisji mowy jest tak skonstruowana, że najmniejsza rozróżnialna subiektywnie zrozumiałość mowy określona jest wartością wskaźnika transmisji mowy tzw. JDN STI 0,03. Znaczy to, że człowiek subiektywnie i słuchowo potrafi rozróżnić różną jakość zrozumiałości mowy w dwóch pomieszczeniach, gdy wskaźniki transmisji mowy STI w tych pomieszczeniach będą miały wartości różniące się co najmniej o 0,03. Zalecana wartość dla sal szkolnych wskaźnika

transmisji mowy to minimum 0,62 (wg CIOP-PIB dla klas 1-3 oraz dla klas do nauki języków obcych minimum 0,7).

Wskaźnik transmisji mowy STI w nie jest taki sam w całej objętości wnętrza. Największa wartość tego parametru jest przy mówiącym, a oddalając się od mówiącego wartość tego wskaźnika generalnie się zmniejsza. Ponieważ człowiek emituje dźwięki kierunkowo to zrozumiałość mowy (a więc i wartość tego parametru) przed mówiącym będzie większa niż za nim (upraszczając słuchacz znajdujący się przed nim słyszy lepiej niż znajdując się za nim). W salach szkolnych bez adaptacji akustycznej wskaźnik transmisji mowy STI jeden metr od mówiącego ma wartości 0,67-0,72, a w dużej odległości od nauczyciela 0,54-0,65. W salach szkolnych z adaptacją akustyczną sufitów wskaźnik transmisji mowy STI jeden metr od mówiącego ma wartości 0,85-0,90, a w dużej odległości od nauczyciela 0,69-0,77.

Tabela.1. Korelacja wartości wskaźnika transmisji mowy STI z oceną subiektywną zrozumiałości mowy oraz zrozumiałością sylab, słów i zdań

Zrozumiałość mowy	STI	Zrozumiałość sylab [%]	Zrozumiałość słów [%]	Zrozumiałość zdań [%]
zła	0 - 0.3	0 - 34	0 - 67	0 - 89
niska	0.3 - 0.45	34 - 48	67 - 78	89 - 92
średnia (zadawalająca)	0.45 - 0.6	48 - 67	78 - 87	92 - 95
dobra	0.6 - 0.75	67 - 90	87 - 94	95 - 96
doskonała	0.75 - 1	90 - 96	94 - 96	96 - 100

$L_{Aeq,glosu}$ – średni poziom dźwięku A głosu (poziom natężenia głosu) mówiącego

Parametr określający średni w czasie (podczas mówienia) poziom dźwięku A głosu mówiącego, określany w odległości 1m od jego ust. W tym samym czasie wszystkie inne dźwięki (inne rozmowy, dźwięki np. szurania krzesłami, przewracania stron książek, wszystkie dźwięki z poza pomieszczenia) stanowią tzw. tło akustyczne określone poziomem dźwięku A tła $L_{Aeq,tla}$. Określany jest w dB.

$L_{Aeq,wyposazenia}$ – poziom dźwięku A od wyposażenia

Parametr określający poziom dźwięku A od wyposażenia technicznego budynku (np. centralne ogrzewanie), określany zwykle w środku pomieszczenia. Określany jest w dB.

Współczynnik pochłaniania dźwięku materiału

Współczynnik pochłaniania dźwięku α materiałów określa własność materiału (wyrobu) do pochłaniania dźwięku na nią padającego. Im jest większy tym mniej energii akustycznej padającej na powierzchnię materiału się od niej odbije. W pomieszczeniu im więcej będzie materiału dźwiękochłonnego o dużych wartościach współczynnika pochłaniania dźwięku tym będzie mniej (energii) dźwięków odbitych, krótszy będzie czas pogłosu. Wartość współczynnika pochłaniania dźwięku α materiału zawiera się w przedziale od 0 (nic materiału nie pochłania, np. beton $\alpha = 0,02$) do 1 (cała energia akustyczna padająca na materiał zostanie pochłonięta, np. wełna mineralna może mieć $\alpha = 0,95$). Dla konkretnego materiału zależy od częstotliwości (w większości przypadków, jego wartość wraz ze wzrostem częstotliwości rośnie). Jeżeli w tekście nie podano wyraźnie, że wartości tego parametru odnoszą się do konkretnych częstotliwości to są wartościami średnimi dla zakresu częstotliwości od 100 do ok. 4000Hz – tzw. ważony współczynnik pochłaniania dźwięku α_w).

Zalecane wartości parametrów charakteryzujących właściwości akustyczne sal lekcyjnych

Zaleca się, aby w salach lekcyjnych o typowej objętości (ok. 150-210m³):

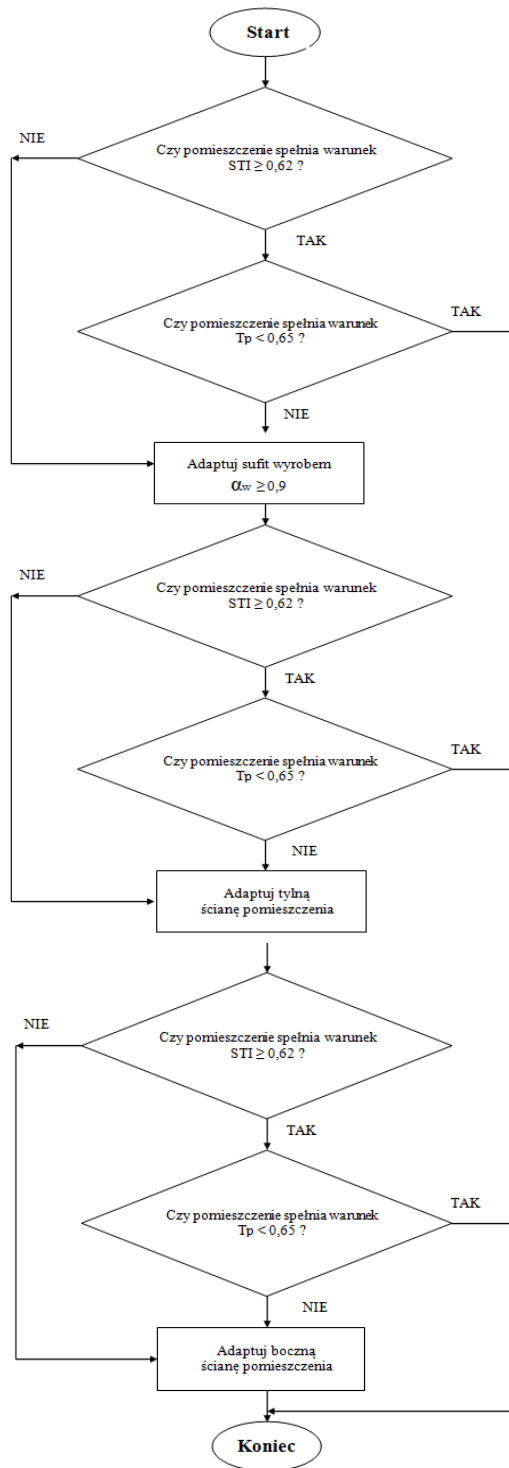
- czas pogłosu w dla częstotliwości 125 i 4000Hz zawierał się w zakresach 0,35-0,65s, dla częstotliwości 250, 500, 1000, 2000Hz (w tym tzw. T_{mf}) zawierał się w zakresie od 0,45-0,65s,
- średni wskaźnik transmisji mowy STI był większy od 0,7 w salach do nauki dzieci młodszych oraz do nauki języków obcych oraz większy lub równy 0,62 w salach do nauki dzieci starszych. Należy dążyć do tego, aby nie tylko średnie w pomieszczeniu wartości tych parametrów spełniały te kryteria, ale żeby we wszystkich obszarach sal w których są uczniowie kryteria te były spełnione (podane wartości STI określone są w pomieszczeniu bez ludzi, przy minimalnym poziomie tła akustycznego tj. poziom dźwięku A tła akustycznego ok. 25-30dB),
- równoważny (średni) poziom dźwięku A głosu mówiącego określany w odległości 1m od mówiącego podczas jego wypowiedzi, powinien się zawierać w zakresie 60-65dB,
- poziom dźwięku A od wyposażenia technicznego budynku powinien być mniejszy niż 40dB.

Wytyczne adaptacji akustycznej sal lekcyjnych

Na podstawie wiedzy dotyczącej akustyki pomieszczeń do przekazywania mowy oraz na podstawie badań CIOP-PIB przeprowadzonych przy adaptacji 9 pomieszczeń sformułowano następujące wytyczne:

- Minimalne właściwości akustyczne pomieszczeń (poziom minimalny) zapewniające odpowiednią zrozumiałość mowy oraz minimalizujące nadmierny wysiłek narządu głosu nauczycieli są określone za pomocą zalecanych wartości parametrów określonych wyżej.
- W celu osiągnięcia tych właściwości należy:
 - adaptować akustycznie pomieszczenie (metody techniczne):
 - w każdej sali należy zainstalować dźwiękochłonny sufit podwieszany (współczynnik pochłaniania dźwięku materiałów zastosowanych w suficie powinien być nie mniejszy niż 0,9). Najlepsza pod względem warunków akustycznych odległość dźwiękochłonnego sufitu podwieszanego od stropu pomieszczenia to 0,65m. Ze względów technicznych w większości przypadków tak dużej odległości nie można zastosować. Należy dążyć więc aby odległość ta była jak największa. Za minimalną odległość należy przyjąć 0,16m. Im ta odległość będzie mniejsza tym właściwości akustyczne (w tym pogłos) w zakresie niskich częstotliwości (125-500Hz) będą gorsze (zmniejszenie zrozumiałości mowy),
 - w przypadku niezyskania ww. wymaganych właściwości akustycznych sal lekcyjnych (podanych w *Zalecane wartości parametrów charakteryzujących właściwości akustyczne sal lekcyjnych*, schemat podano na rys. 1) część ściany tylnej na wysokości od ok. 1m do ok. 2m (minimum 25% powierzchni ściany) powinno się pokryć wyrobami dźwiękochłonnymi (współczynnik pochłaniania dźwięku powinien być nie mniejszy niż 0,9); wyrób ten powinien tworzyć, lub być częścią aranżacji wnętrza (np. w postaci tablicy informacyjnej); w przypadku istnienia przy tej ścianie szaf, wyrób dźwiękochłonny należy umieścić powyżej szaf,
 - w przypadku niezyskania ww. wymaganych właściwości akustycznych sal lekcyjnych należy pokryć ścianę boczną sali na wysokości od ok 1m do ok. 2m na długości ok. 4m wyrobem dźwiękochłonnym (współczynnik pochłaniania powinien być nie mniejszy niż 0,9); wyrób ten powinien tworzyć lub być częścią aranżacji wnętrza,

- w rozpatrywanych pomieszczeniach (do 210m³) różnica poziomów dźwięku A od głosu nauczyciela między przodem i tyłem sali nie będzie na tyle duża, iż nie będzie zachodziła potrzeba stosowania fragmentu sufitu odbijającego (kierującego) energię akustyczną do tylnej części pomieszczenia,
- inne zalecenia techniczne, których niespełnienie może zmniejszyć zrozumiałość mowy w pomieszczeniu:
 - okna sali powinny być szczelne, o nowoczesnej konstrukcji zapewniające izolacyjność akustyczną na poziomie ok. 30 dB,
 - drzwi (element zwykle zaniedbywany pod względem akustycznym) powinny szczelnie przylegać do ramy, a na dole powinna być listwa ograniczająca szparę pod drzwiami. Jest to szczególnie ważne w przypadku prowadzenia zajęć lekcyjnych na korytarzach. W tym ostatnim przypadku izolacyjność akustyczna drzwi powinna być podwyższona,
 - zastosowanie okien i drzwi o zwiększonej izolacyjności będzie się wiązało z koniecznością zapewnienia odpowiedniej wymiany powietrza,
- metody organizacyjne:
 - w salach powinno być jak najwięcej elementów pochłaniających dźwięki (miękkich):
 - tablice jutowe lub tekstylne (nie z korka lub blaszane),
 - dywany lub wykładziny,
 - szafy z książkami,
 - krzesła z elementami z materiału lub skaju
 - firanki,
 - zasłony,
 - rolety,
 - nauczyciele powinni tak organizować zajęcia, aby podczas ich mowy ograniczyć czynności w pomieszczeniu powodujące hałas, w tym i rozmowy uczniów.

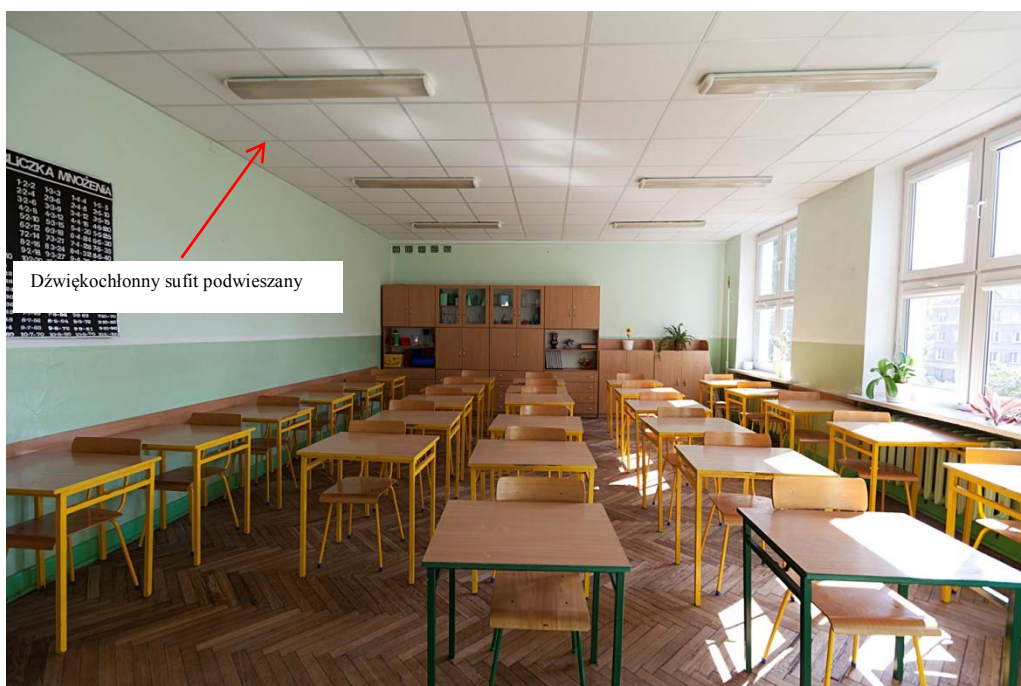


α_w - współczynnik pochłaniania dźwięku materiałów
 T_p - czas pogłosu
 STI - wskaźnik transmisji mowy w pomieszczeniu

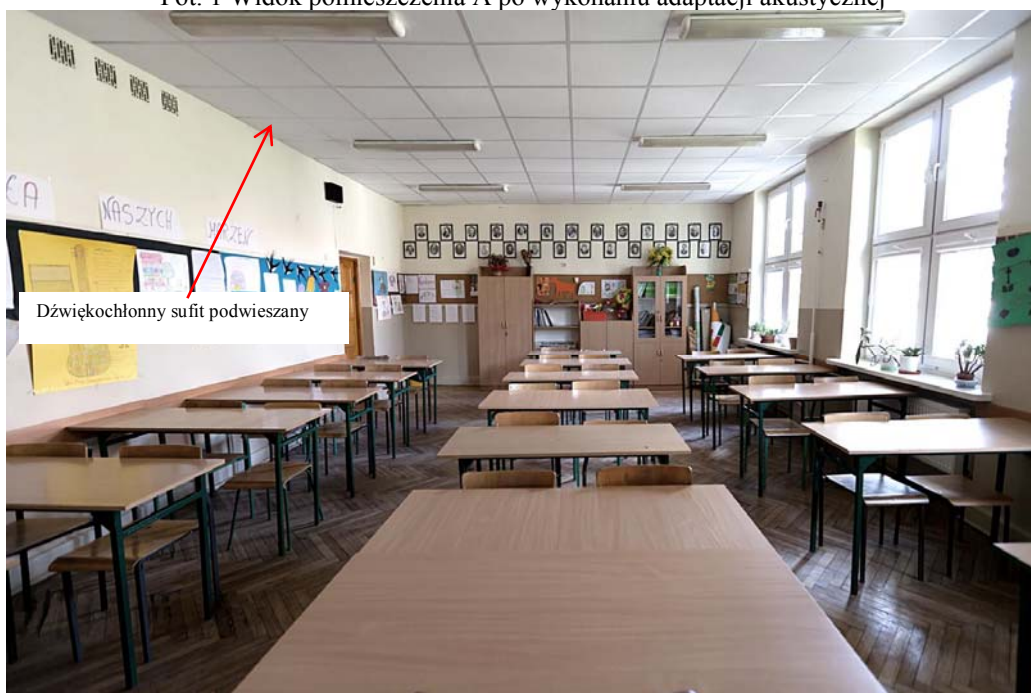
Rys. 1. Schemat postępowania przy wykonywaniu adaptacji akustycznej

Przykłady adaptacji akustycznej dwóch sal lekcyjnych w szkołach podstawowych i ponadpodstawowych

W celu zilustrowania stosowania zaleceń podanych wyżej wykonano adaptację akustyczną 8 sal lekcyjnych i jednej wykładowej. Adaptowane pomieszczenia miały wymiary ok. 8,7x5,8x3,2m (sale lekcyjne) oraz 14x5x3m (sala wykładowa), objętości sal lekcyjnych ok. $V=160\text{ m}^3$ sali wykładowej 210 m^3 i polu powierzchni całkowitej sal lekcyjnych ok. $S_v=190\text{ m}^2$, sali wykładowej 255 m^2 . Przykładowe fotografie dwóch sal lekcyjnych pokazano na fot. 1 i 2.



Fot. 1 Widok pomieszczenia A po wykonaniu adaptacji akustycznej



Fot. 2 Widok pomieszczenia B po wykonaniu adaptacji akustycznej

Adaptację wykonano w zakresie patrz tabela 2.

Tabela 2 Adaptacja akustyczna w rozpatrywanych salach

	Dźwiękochłonny sufit podwieszany		Materiał dźwiękochłonny na ścianie tylnej		Materiał dźwiękochłonny na ścianie bocznej	
	Współczynnik pochłaniania	Pole powierzchni	Współczynnik pochłaniania	Pole powierzchni	Współczynnik pochłaniania	Pole powierzchni
Sala wykładowa	0,9	48	0,9	6,5	0,9	6,5
Sala lekcyjna 1	0,9	47	0,9	6,5	0,9	6,5
Sala lekcyjna 2	0,9	47	0,9	3,5	0,9	6,5
Sala lekcyjna 3	0,9	47	-	-	-	-
Sala lekcyjna 4	0,9	47	-	-	-	-
Sala lekcyjna 5	0,9	37	-	-	-	-
Sala lekcyjna 6	0,9	47	-	-	-	-
Sala lekcyjna 7	0,9	47	-	-	-	-
Sala lekcyjna 8	0,9	47	-	-	-	-

Do adaptacji zastosowano materiały firm Ecophon i Rockfon.

W tabeli 3 podano średnie w pomieszczeniach wartości wskaźnika transmisji mowy STI_{sr} dla pomieszczeń z i bez adaptacji akustycznych (w pomieszczeniach znajdowało się standardowe wyposażenie, w pomieszczeniu podczas pomiarów nie było ludzi).

Tabela 3. Średnie w pomieszczeniach wartości wskaźnika transmisji mowy STI_{sr} przed i po wykonaniu adaptacji akustycznych (pomieszczenia ze standardowym wyposażeniem, w pomieszczeniu podczas pomiarów nie było ludzi)

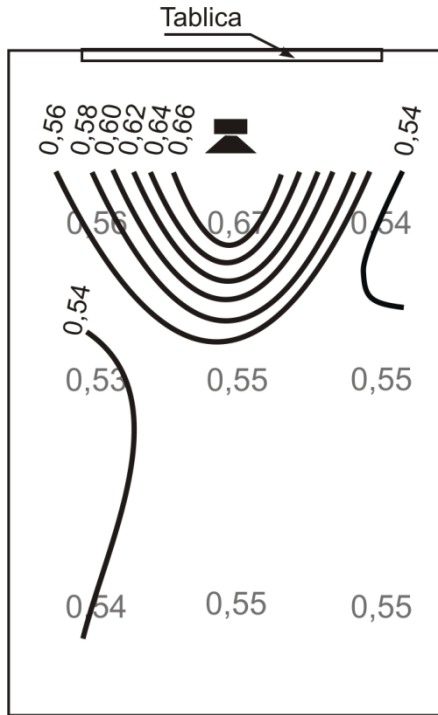
Sala	Średni wskaźnik transmisji mowy STI_{sr}		
	Minimalna wartość dopuszczalna	Bez adaptacji	Z adaptacją
wykładowa	0,66	0,63	0,76
lekcyjna 1	0,62 (dla klas 4-6) 0,70 (dla klas 1-3)	0,63	0,80
lekcyjna 2		0,55	0,75
lekcyjna 3		0,60	0,79
lekcyjna 4		0,56	0,74
lekcyjna 5		0,58	0,74
lekcyjna 6		0,59	0,73
lekcyjna 7		0,62	0,73
lekcyjna 8		0,63	0,76

Na podstawie wartości średnich w pomieszczeniu wskaźników transmisji mowy STI_{sr} można stwierdzić:

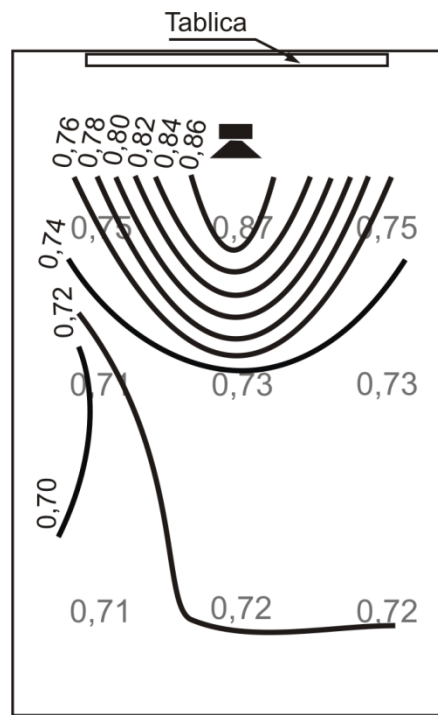
- przed wykonaniem adaptacji akustycznej średnie w pomieszczeniach wartości wskaźnika transmisji mowy STI_{sr} (0,55 - 0,63) w większości przypadków są mniejsze od kryterialnej wartości minimalnej (tj. 0,62/0,70). Przykładowe rozkłady w sali lekcyjnej 3 i 4 wskaźnika transmisji mowy STI pokazano na rys. 2a i 3a. Można zauważyć, że w większość uczniów będzie w obszarze, gdzie wartości tego wskaźnika są równe 0,55 i 0,58, a więc w obszarze o niewystarczającej zrozumiałości mowy. Dlatego w rozpatrywanych pomieszczeniach konieczne było wykonanie adaptacji akustycznej.
- Po wykonaniu adaptacji akustycznej w postaci dźwiękochłonnego sufitu podwieszanego (w sali wykładowej oraz w salach lekcyjnych 1 i 2 także ścian pomieszczenia) średnie w pomieszczeniach wartości wskaźnika transmisji mowy STI_{sr} zawierają się w zakresie 0,73 - 0,8, a więc znajdowały się powyżej wartości kryterialnej podanej wyżej tj. 0,62/0,70. Rozkłady w tych dwóch salach lekcyjnych wskaźnika transmisji mowy STI pokazano na rys. 2b i 3b. Można zauważyć, że w większość uczniów będzie w obszarze, gdzie wartości tego wskaźnika są równe 0,72 i 0,76, a minimalna wartość tego wskaźnika to 0,71. Zgodnie z diagramem na rys. 1 nie było konieczne wykonanie dalszych adaptacji akustycznej pomieszczeń.

Oceniając pomieszczenie pod względem przekazywania mowy (w skali niedostateczna-dostateczna-dobra-doskonała [PN-EN 60268-16:2011]), można stwierdzić, że przed wykonaniem adaptacji akustyka sal była na granicy dostatecznej, a po jej wykonaniu jest doskonała.

a)

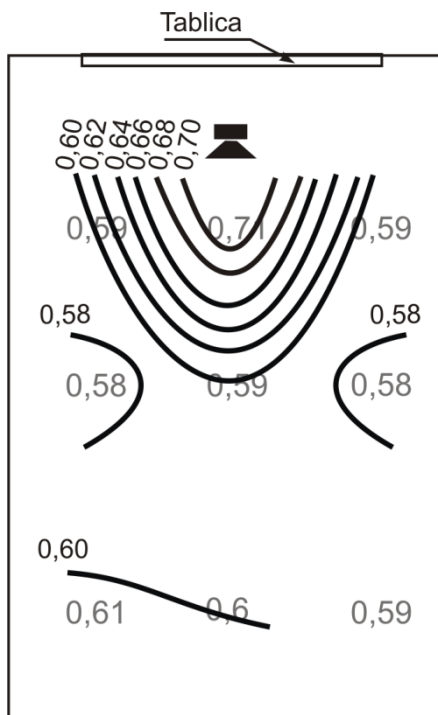


b)

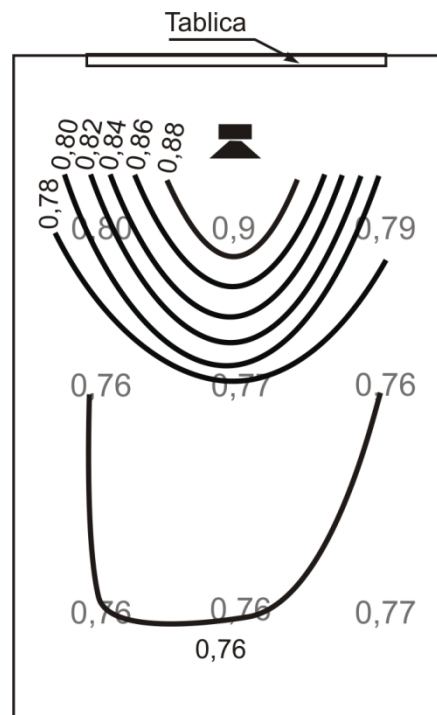


Rys. 2. Rozkład wartości wskaźnika transmisji mowy STI w sali lekcyjnej 3 (a- przed adaptacją akustyczną, b – po adaptacji akustycznej)

a)



b)



Rys. 3. Rozkład wartości wskaźnika transmisji mowy STI w sali lekcyjnej 4 (a- przed adaptacją akustyczną, b – po adaptacji akustycznej)

Literatura:

- Mikulski W., Jakubowska I.: „Wyniki badań zmniejszenia natężenia głosu nauczycieli oraz zmniejszenia hałasu tła akustycznego w salach lekcyjnych po wykonaniu adaptacji akustycznej”, *Bezpieczeństwo Pracy. Nauka i Praktyka*;6:10–12 (2013).
- Mikulski W.: „Wyniki badań wpływu adaptacji akustycznych sal lekcyjnych na jakość komunikacji werbalnej”, *Medycyna Pracy*; 64(2):207-215 (2013).
- Mikulski W.: „Schemat postępowania przy projektowaniu adaptacji akustycznej pomieszczeń edukacyjnych”, *Bezpieczeństwo Pracy. Nauka i Praktyka*;3:20–23 (2013).
- Mikulski W., Radosz J.: “Acoustics of classrooms in primary schools – results of the reverberation time and the speech transmission index assessments in selected buildings”, *Archives of Acoustics*;36(4):777–794 (2011).
- Radosz J.: „Wpływ właściwości akustycznych sal lekcyjnych na poziom ciśnienia akustycznego mowy nauczycieli”, *Medycyna Pracy*; 63, 4, 409–417, 2012.
- Radosz J.: “Global index of the acoustic quality of classrooms”, *Archives of Acoustics*; 38, 2, 159-168, 2013.
- Radosz. J.: „Ocena akustyczna pomieszczeń edukacyjnych”, materiały z konferencji „Bezpieczna praca i nauka w szkole”, 12 kwietnia 2013 r., Nowe Miasto Lubawskie.
- Mikulski W.: „Kształtowanie właściwości akustycznych pomieszczeń szkolnych”, materiały z konferencji „Bezpieczna praca i nauka w szkole”, 12 kwietnia 2013 r., Nowe Miasto Lubawskie.
- Mikulski W.: „Wytyczne w zakresie kształtowania właściwości akustycznych pomieszczeń szkolnych pod względem uzyskania odpowiedniej zrozumiałości mowy i zmniejszenia nadmiernego wysiłku głosowego nauczycieli”, materiały z konferencji „Bezpieczna praca i nauka w szkole”, 25 wrzesień 2013 r., Działdowo.
- Jakubowska I.: „Zagrożenie Hałasem w szkole” ”, materiały z konferencji „Bezpieczna praca i nauka w szkole”, 25 wrzesień 2013 r., Działdowo.
- PN-EN 60268-16:2011E, Urządzenia systemów elektroakustycznych -- Część 16: Obiektywna ocena zrozumiałości mowy za pomocą wskaźnika transmisji mowy.
- PN-EN ISO 9921:2005. Ergonomia – Ocena porozumiewania się mową. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 2005